

<論文>

消化ガスのバイオ天然ガス化

村越浩二¹, 宮本博司², 寺岡 宏³, 落 修一⁴

(株)神鋼環境ソリューション(〒651-2241 神戸市西区室谷 1-1-4 E-mail:k.murakoshi@kobelco-eco.co.jp)¹
 (株)神鋼環境ソリューション(〒651-0072 神戸市中央区脇浜町 1-4-78 E-mail:h.miyamoto@kobelco-eco.co.jp)²
 神戸市(〒650-8570 神戸市中央区加納町 6-5-1 E-mail:hiroshi_teraoka@office.city.kobe.jp)³
 独立行政法人 土木研究所(〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 E-mail:ochi@pwri.go.jp)⁴

概要

下水処理過程で発生した消化ガス中のメタンガス濃縮法として、高圧水吸収法を適用すれば、都市ガス相当の性状を有する精製ガスを得ることが可能である。同法を適用した実証設備は2年以上にわたって運転を継続しており、得られた精製ガスを用いて数種の天然ガス自動車による公道での試験走行を重ねている。本報では実証試験により得た以下の知見を報告する。

- ① 精製装置の運転条件がガス品質等に与える影響
- ② 精製ガスの自動車用燃料としての適用性確認試験の結果
- ③ 自動車燃料として利用する際の満たすべき品質管理基準と実証運転による性能維持確認結果

キーワード: 下水汚泥, 消化ガス, バイオガス, 天然ガス自動車, 自動車燃料, 高圧水吸収法

1. はじめに

神戸市では年間約2億 m³の下水を処理し、その処理過程で発生する汚泥については、減量化と質の安定化を目的として嫌気性消化しており、年間約1千万 m³の消化ガスが発生している。現在、その内の約70%を消化タンクの加温ボイラーや空調設備などの燃料として利用しているが、残りは焼却処分している。

消化ガスは化石燃料に由来しないバイオガスであり、その積極的な活用によって化石燃料の消費削減や二酸化炭素排出量削減など地球環境保全に貢献することが大いに期待されている。

そこで、平成16年度、神戸市と株式会社神鋼環境ソリューションは、消化ガスの天然ガス化に関する共同研究を実施し、下水処理場に適した消化ガス精製装置を用いて高純度のメタンガスを取り出すことに成功するとともに、このガスが天然ガス自動車の標準燃料である都市ガス13Aに近い熱量を有することを確認した。そして、この精製した消化ガスを“バイオ天然ガス”と称することとした。

これらの研究成果をふまえ、平成17年度からは上記2者に独立行政法人土木研究所を加えた3者により、消化ガスのバイオ天然ガス化と天然ガス自動車燃料としての活用を目指した共同研究に取り組んできた。本報は、これまでに得られた研究成果を報告する^{1)~4)}。

2. バイオ天然ガスの製造

2.1 製造方法と装置

(1) 製造方法

圧縮天然ガス自動車(以下、CNG車と記す)は天然ガスを燃料とする自動車であり、構造は基本的にガソリン車あるいはディーゼル車と同じである。異なるのは主に燃料系統であり、燃料である天然ガスは、気体のまま高圧(20MPa)に圧縮されて、自動車に搭載されているガス容器に充填された後、当該ガス容器から燃料配管を通り、減圧弁を介してエンジンに供給される構造となっている。代表的な低公害車の1つであり、平成19年3月末現在、国内で約31,500台が普及している⁵⁾。また、CNG車燃料用の天然ガスとして、国内においてはメタンを主成分とする都市ガス13Aおよび都市ガス12Aが利用されている。

消化ガスは下水を処理する過程で発生するバイオガスで、メタンを約60%含む。一方、二酸化炭素を約40%含むため発熱量が都市ガス13Aの約半分と低いほか、硫化水素等の微量不純物を含んでいる。そのため、消化ガスをCNG車の燃料として利用するためには、二酸化炭素を除去して発熱量を高めるほか、水分や硫化水素など、腐食等の悪影響を及ぼす不純物を除去する必要がある。

そこで、消化ガスから不純物を効率良く除去して、都市ガスの性状に近づけるための、精製方法の検討を行った。結果、高い精製ガスメタン濃度と高いメタン回収率の双方が達成可能で、かつ、設置場所が下水処理場という特性を生かして豊富に利用可能な処理水を精製に利用できることから、高圧水吸収法を選定し、実証設備を建設した。

Fig.1⁶⁾にメタン、二酸化炭素および硫化水素の水への溶解度の圧力依存性データを示す。

高圧水吸収法は、消化ガス中の不純物である二酸化炭素や硫化水素の水への溶解度が、メタンと比較して大きく、Fig.1に示すように、加圧下において溶解度の差が拡大する特性を利用して、比較的少ない吸収水で高濃度のメタンを

抽出するガス精製方法である。

本方式では、吸収水を再生後冷却し循環利用することができ、水温が低いほど水への溶解度が大きくなる特性を利用して、より少ない吸収水量での精製が可能である。

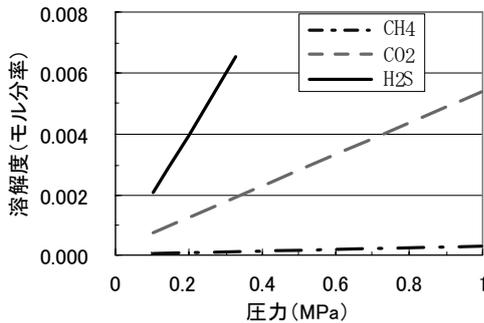


Fig.1 Relationship between pressure and solubility in water (CH₄&CO₂: 18°C、H₂S: 20°C)

(2)実証設備

実証設備は神戸市建設局東水環境センター内東灘処理場に設置した。当該処理場は、処理能力 320,000m³/日を有する神戸市内最大の終末処理場であり、消化ガス発生量は、日平均で 8,000m³_N/日程度、日最大で 15,000m³_N/日程度である。

実証設備は消化ガス精製装置と精製ガスの CNG 車への充填装置からなり、平成 16 年 10 月(充填装置は同年 11 月)に運転を開始した。消化ガス精製装置の定格処理能力は 80m³_N/h(消化ガス)であり、Table1に主要諸元を、Fig.2 にフローをそれぞれ示す。

Table1 Main specifications of biogas purification demonstration plant

精製方式	高压水吸収法
吸収水供給方式	一過式または循環式(切替可能)
定格処理量	消化ガス(未脱硫)80m ³ _N /h
最高使用圧力	0.99MPa
吸収塔寸法	内径:400mm、全高:約14m
除湿方式	2塔式PSA
	吸着剤:モレキュラーシーブ
吸収水種類	砂ろ過水

Table1に示すように、吸収水の供給方法は一過式と循環式の切替が可能である。一過式では、吸収塔に供給された水は減圧塔から抜き出された後、全量水処理設備に返流している。循環式では、減圧塔から抜き出した水を脱気塔に頂部から導入し、塔内での空気との向流接触によって水中に残存している二酸化炭素等を脱気し、再生させている。再生後の水は冷却器を通過させ一定水温に保ち循環使用している。精製装置写真を Fig. 3、測定機器仕様を Table2 に示す。



Fig.3 Overview of biogas purification demonstration plant

Table2 Specifications of measuring instruments

測定対象	型式
消化ガス流量	超音波式流量計
精製ガス流量	差圧式流量計
精製ガスメタン濃度	非分散形赤外線吸収式
精製ガス二酸化炭素濃度	非分散形赤外線吸収式
精製ガス酸素濃度	磁気式
精製ガス露点	静電容量式
吸収水量	電磁流量計

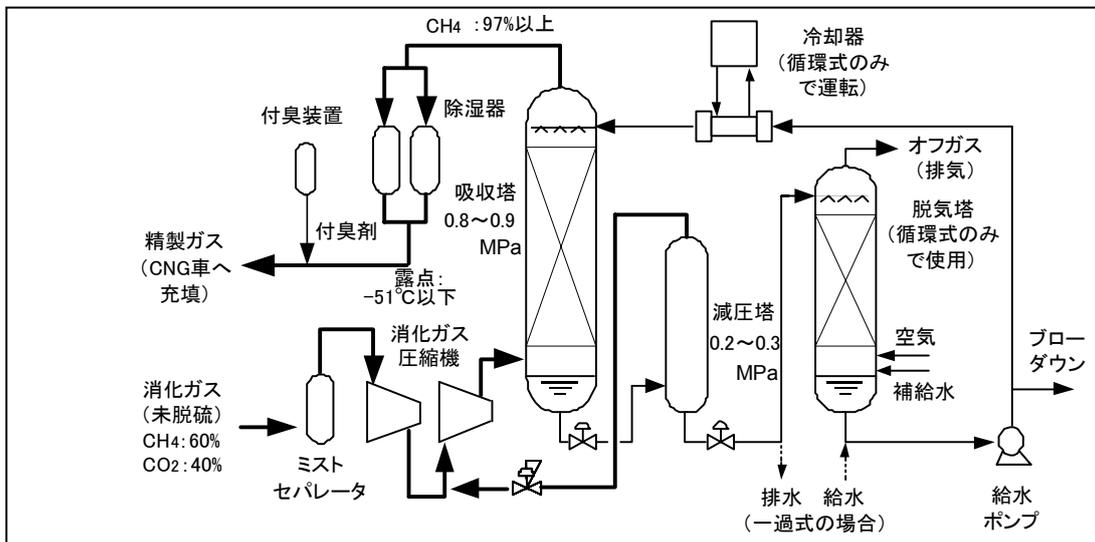


Fig.2 Schematic flow diagram of demonstration plant

3. 実証運転結果

3.1 メタンガスの濃縮

Fig. 4 に吸収水の温度と精製ガス中のメタン濃度との関係を示す。水温が低いほど高いメタン濃度の精製ガスが抽出できており、水温 7°C ではメタン 98% 以上であるのに対し、水温 30°C ではメタン 97% 程度である。

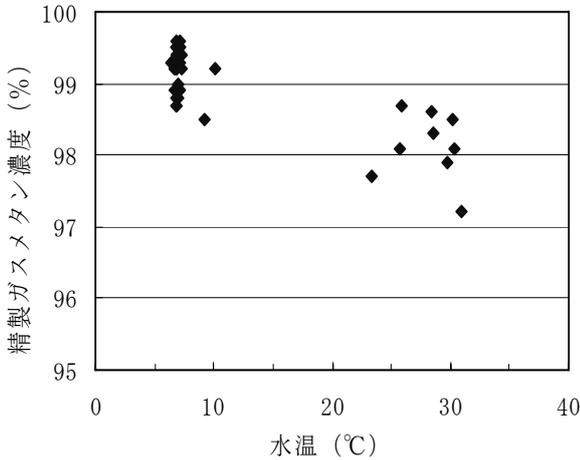


Fig. 4 Effect of water temperature on methane concentration

Fig. 5~7 は、吸収塔における液ガス比(=吸収水量 [m³/h]/消化ガス量[m³_N/h])と精製ガスのメタン、二酸化炭素、および酸素濃度の関係をそれぞれ示している。

Fig. 6 に示すとおり、水温が高くなるほど二酸化炭素の水への溶解度が低下するため、二酸化炭素の吸収量を維持するために液ガス比は大きくする必要がある。二酸化炭素を 0.5% 以下に下げたために必要となる液ガス比は、水温 7°C の場合は 0.15 程度であるのに対し、水温 30°C の場合は 0.5 程度まで大きくなっている。その一方、Fig. 7 からわかるように酸素濃度は液ガス比を大きくするほど高くなる傾向にある。水温 7°C、液ガス比 0.15 のとき、酸素濃度は 0.05% 以下であるのに対し、水温 30°C、液ガス比 0.5 のとき、酸素濃度は 0.15% 程度である。これは、吸収塔内で二酸化炭素等を吸収する際に、吸収水中の溶存酸素が精製ガス側に移行していることを示している。吸収水中には溶存窒素も含まれており、溶存酸素と同様に吸収塔での精製ガス側への移行があると考えられる。Fig. 4 で水温が高いほどメタン濃度が低下すること、および Fig. 5 で液ガス比を大きくしていてもメタン濃度の上昇が抑えられるのは、この溶存酸素および窒素の影響と考えられる。

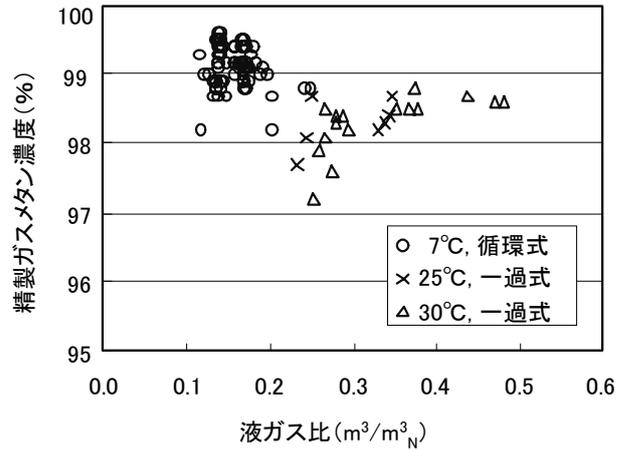


Fig. 5 Effect of liquid-to-gas ratio on methane concentration

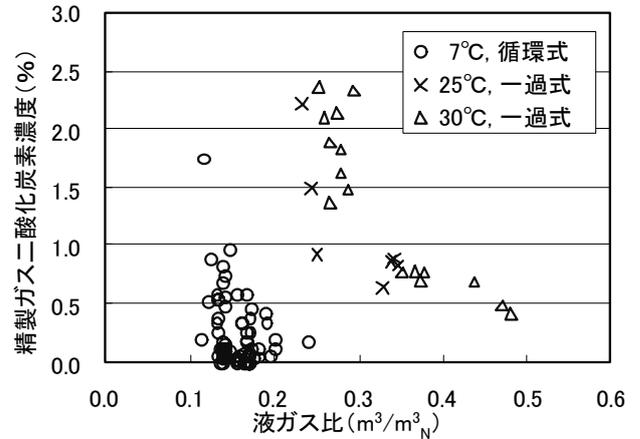


Fig. 6 Effect of liquid-to-gas ratio on carbon dioxide concentration

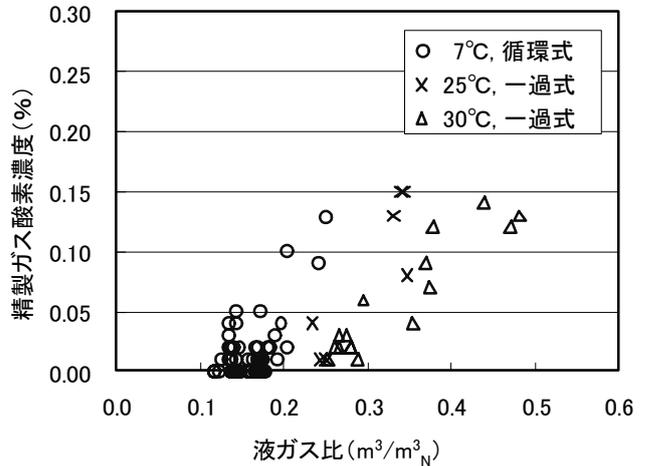


Fig. 7 Effect of liquid-to-gas ratio on oxygen concentration

3.2 電力原単位

実証設備における電力原単位について、消化ガス量あたりの値を Fig. 8 に、精製ガス量あたりの値を Fig. 9 にそれぞれ示す。処理ガス量が多いほど電力原単位は向上しており、本実証設備の定格処理量である消化ガス量 80 m³_N/h、精製ガス量 48 m³_N/h においては、消化ガス 1m³_N あたりでは

0.4kWh程度、精製ガス 1m^3_{N} あたりでは0.7kWh程度である。このとき精製に要するエネルギーは、精製ガスの保有エネルギー(低位発熱量で $35.3\text{MJ}/\text{m}^3_{\text{N}} \approx 9.8\text{kWh}/\text{m}^3_{\text{N}}$)の10分の1以下であり、精製によるエネルギーロス是十分低い値であるといえる。

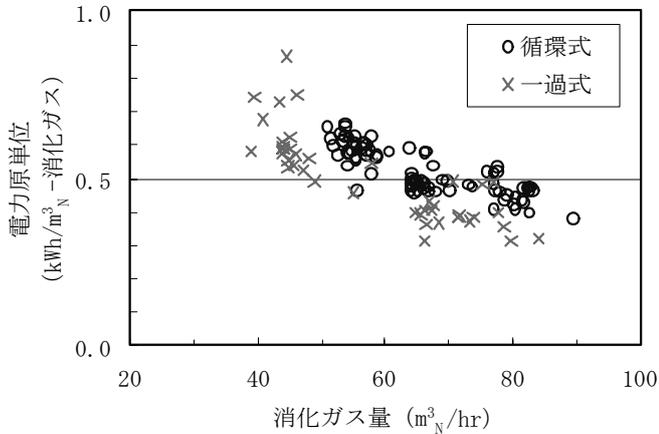


Fig. 8 Electric power consumption per volume of raw biogas

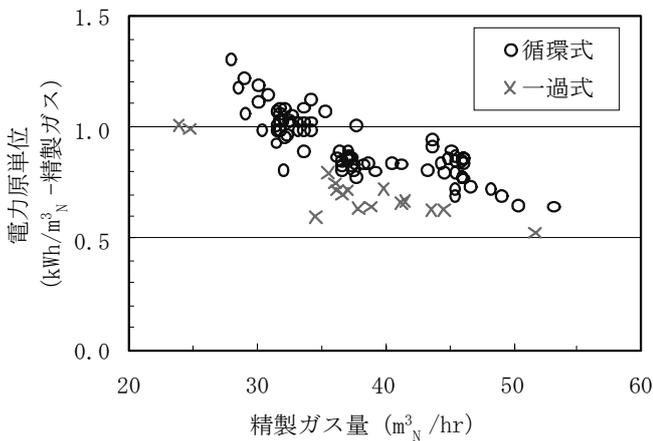


Fig. 9 Electric power consumption per volume of upgraded biogas

4. CNG車燃料への適用性

実証設備で精製したガスが既存のCNG車において燃料として利用できるかを確認するため、自動車試験機関における動力および排ガス試験と公道での自動車試験走行を実施した。

4.1 排ガス・動力試験

排ガス・動力試験は(株)DRD(旧社名:日産ディーゼル技術研究所)の大型シャシダイナモメータを使用して行った。

試験はまず総排気量約12Lの大型バスで実施し、以下の4種類のガスを供給した。精製ガス100%、精製ガス75%+都市ガス25%の混合ガス(以下のFig.では精製ガス75%と記載)、精製ガス50%+都市ガス50%の混合ガス(精製ガス50%)および大阪ガス13A(標準総発熱量 $45\text{MJ}/\text{m}^3_{\text{N}}$)100%

である。各燃料の切替を確実にを行うため、自動車に搭載されている燃料容器は使用せず、各供試用ガスを充填した容器からエンジンまで直接配管で接続し、燃料の切替はバルブ操作で行った。なお、試験の実施にあたって、試験車両の精製ガス向けの調整は、一切行っていない。

Fig.10に「圧縮天然ガス自動車の排出ガス技術指針」で規定された試験モードであるガソリン13(G13)モードにおける排ガス試験結果を示す。

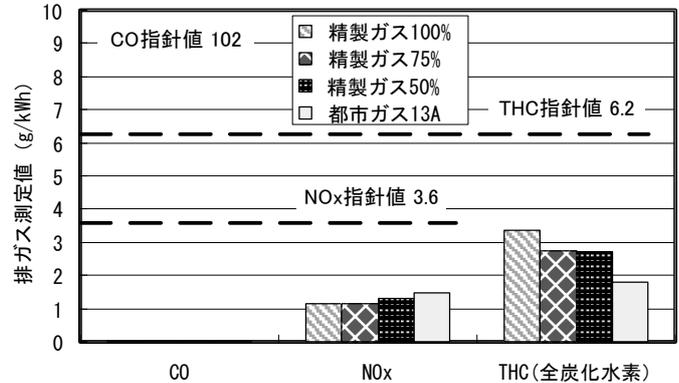


Fig.10 Emissions from large-sized bus (G13-mode test)

技術指針で規定された試験モードであるG13モードにおける排出ガスは精製ガスと都市ガスのいずれの場合についても、試験車両に適用される平成7年技術指針値を下回る良好な値であった。なお、一酸化炭素についてはいずれのガスを燃料とした場合でも指針値($102\text{g}/\text{kWh}$)を大幅に下回る結果であり、Fig. 10では現れていない。

Fig.11に試験時の燃料消費率を示す。燃料消費率はG13モードにおける二酸化炭素排出値から算出した。

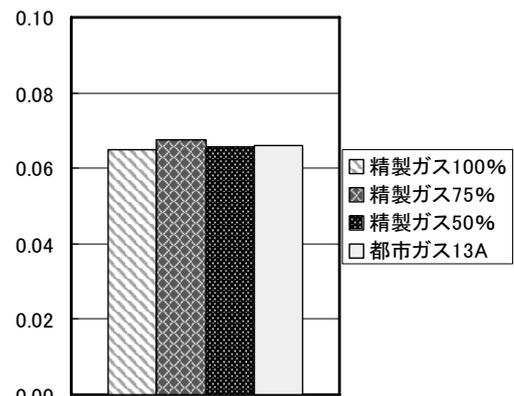


Fig.11 Fuel gas consumption ratio (large-sized bus)

結果、発熱量あたりの燃料消費率は精製ガスと都市ガスの場合での有意差は見られなかった。

出力試験の結果をFig.12示す。全負荷(アクセル全開)でエンジンが各設定回転数となるときの、シャシダイナモメータの吸収力を測定することによって、エンジン出力を測定した。

精製ガスは都市ガスに比べて発熱量が13%程度低いにもかかわらず、Fig.12のように出力の差は最大でも5%程度であった。CNG車のエンジンには排ガスラインに O_2 センサーが

設置されており、その値が一定となるよう空燃比が制御されている。精製ガスの燃料としての特性が都市ガスに近く、空燃比制御が可能な範囲内であった、すなわち、燃焼空気供給量と燃料供給量との比率を調整することによって排ガス中の酸素濃度を都市ガスの場合と同じ値に保つことが可能であり、その場合の入熱が都市ガスの場合とほぼ同じであったため、出力にほとんど差があらわれなかったと考えられる。

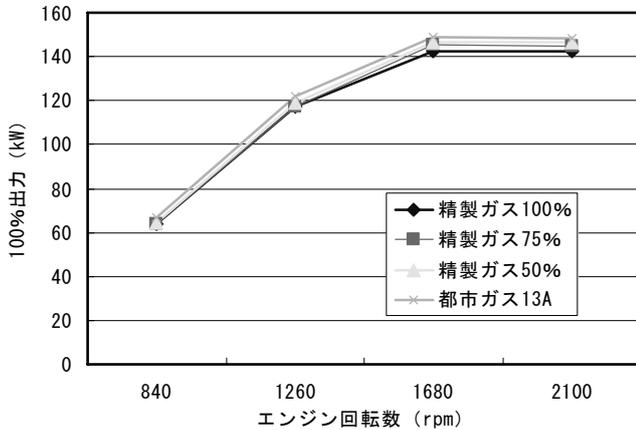


Fig.12 Result of engine power test (large-sized bus)

大型バスに対して実施した排ガス、動力試験は中型バス(総排気量:約 7L)についても行った。中型バスの試験は、都市ガス(東京ガス 13A、試験実施時の標準総発熱量: $46\text{MJ}/\text{m}^3_{\text{N}}$)およびメタン濃度を調整した精製ガスとし、メタン濃度は 90%、92.5%、95%および 99%とした。

大型、中型バスの出力試験結果を燃料ガス発熱量との関係で整理し、Fig.13 に示す。横軸は燃料ガスの低位発熱量を、東京ガス 13A を 100%として比率で表している。縦軸は出力を、東京ガス 13A のときの値を 100%として比率で表している。なお、大型バス、中型バスとも、最高出力が得られるエンジン回転数(大型バス:2,100rpm、中型バス:2,800rpm)における出力を表示している。

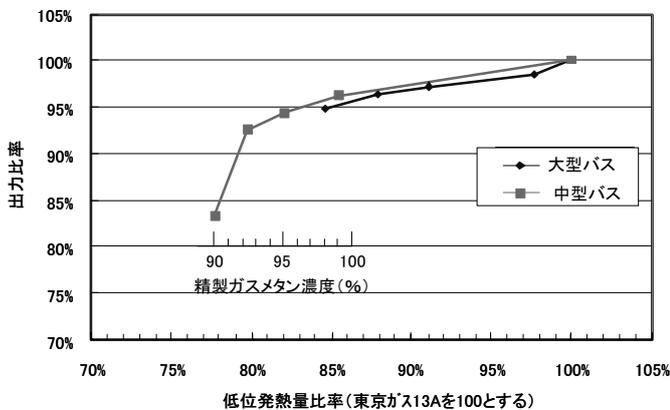


Fig.13 Relationship between fuel gas heating value and engine power

燃料ガス発熱量比率に対する出力比率は、大型バス、中型バスともほぼ同じ値となっており、発熱量比率が 100~82%程度(メタン 95%程度以上)の範囲では、出力の低下幅

は 5%程度にとどまっており、発熱量が低下しても出力の低下はほとんどみられない。

以上の結果から、実証設備の精製ガスは、メタン 95%以上に相当する発熱量を有する燃料ガスであれば、既存の CNG 車において、都市ガス 13A を燃料に用いた場合と実用上有意差のない動力性能および排出ガス性能が得られることを確認した。

4.2 公道試験走行

実証設備で製造したメタン 97%以上の精製ガスを燃料として、実際に CNG 車の公道での試験走行を行った。

試験走行は各種の CNG 車に対して行っており、道路維持作業用パトロールカーによる長期試験、バス・ゴミ収集車・公用車・民間運送車両による短期試験を実施した。

Fig.14 に大型バスの試験走行時の写真を示す。



Fig.14 Test run of city bus using upgraded biogas as fuel

結果、燃費や運転手による運転感覚については都市ガス 13A燃料での走行時とほぼ同等であり、精製ガス使用によるトラブルはなかった。また、市バスにおいてウェイトを積載して約 29 人乗車時に相当する模擬営業運行走行を実施した。平均走行速度は都市ガス 13A燃料時とほぼ同等で、排気ガスの成分についても一酸化炭素と全炭化水素とも基準値以下であることが確認された。

以上の CNG 車燃料としての適応性確認の結果、および次項で述べるバイオ天然ガスの品質管理基準値内での消化ガス精製により、バイオ天然ガスの CNG 車燃料としての活用が可能と判断できた。

5. バイオ天然ガスの品質管理基準

5.1 品質管理基準

本項では、法規制値および 4 項で記述した自動車試験結果に基づいて、バイオ天然ガスを CNG 車の燃料として利用する場合の品質管理基準について記す。なお、ここでは既存の CNG 車において、エンジン等に関して何ら改造あるいは再調整を行うことなく、そのままの状態を利用することを前提としている。

精製装置出口および CNG 車への充填時のガス性状の品

質管理基準を Table 3 に示す。ここでは精製装置出口ガスに対して付臭のみを行った後、すなわち、熱量調整を行わずに CNG 車燃料として利用する場合を想定している。

Table3 Kobe standard for biogas as vehicle fuel

項目	単位	管理基準	備考
メタン	vol%	97以上	
酸素	vol%	4未満	
硫化水素	ppm	0.1以下	
露点	°C	-51以下	
シロキサン	mg/m ³ _N	1以下	D3~D6の合計
臭気濃度	—	2,000以上	空気中の混入比率が容量で1/2,000である場合において感知できるにおいがすること

なお、メタン濃度については、排出ガスおよび動力試験結果より、燃料ガスの発熱量はメタン濃度 95%相当以上あればよいとの結果が得られているが、公道での試験走行によって実証済であるメタン濃度 97%以上という値を採用することにした。

5.2 品質管理実績

実証設備運転で得た精製ガスは Table3 に示した品質管理基準を安定して満足していることを平成 18 年度の実績データで以下に示す。

(1) 精製ガス性状

Table4 に平成 18 年度中の実証設備運転中の消化ガス、精製ガスの性状(年間の平均値)を示す。データ点数はいずれも 18 点で両者は同一日に採取した。ガス成分の分析はガスクロマトグラフィによるものである。精製ガス中のメタンは 98.2%、酸素は 0.3%、硫化水素は定量下限値(0.1ppm)未満であり、Table3 に示す品質管理基準を常に満たす精製ガスが得られている。

なお、精製ガスの露点(水分)についてはオンラインで連続的にデータを採取しており、定期的に基準値を下回っていた。

Table 4 Composition of raw and upgraded biogas

項目	単位	年間平均値(平成18年度)	
		消化ガス	精製ガス
メタン	vol%	60.9	98.2
二酸化炭素	vol%	35.8	0.1
窒素	vol%	0.7	1.3
酸素	vol%	0.2	0.3
水分	vol%	2.4	—
硫化水素	ppm	335	<0.1

(2) シロキサン除去性能

平成 18 年度の実証運転中のシロキサン除去性能の確認結果を示す。Fig.15 に精製設備でのシロキサン除去率を消化ガス中のシロキサン濃度を横軸に取り示す。シロキサン除

去率は常に 97%以上であった。

なお、シロキサン濃度は重合度 3~6 の環状ジメチルシロキサン(D3~D6)の総和として示している。ガス中のシロキサン分析は、対象ガスを一定時間定量ポンプにて吸引(約 2L/分)し、ガス捕集剤に吸着させ、これを抽出、濃縮してガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)にて定量した。

Fig.16 に消化ガス中のシロキサン濃度を横軸、精製ガス中のシロキサン濃度を縦軸に取り示す。

消化ガス中のシロキサン濃度は 6.8~107mg/m³_Nと変動が大きい。精製処理後のガス中の濃度は、CNG 車燃料としての利用を想定し定めた前述の品質管理基準(1mg/m³_N以下)を常に満足した。循環式と一過式運転における差異は見られなかった。精製ガス中シロキサン濃度(平成 18 年度平均値)は 0.33mg/m³_Nであった。

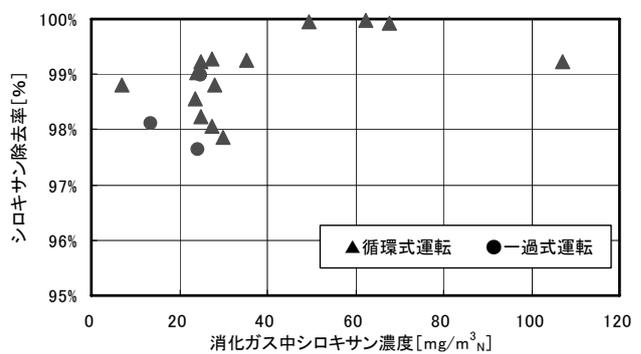


Fig. 15 siloxanes removal ratio

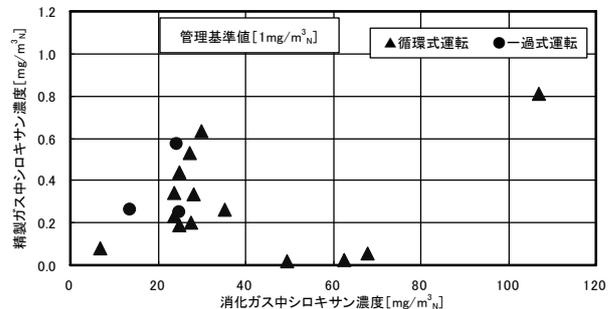


Fig. 16 siloxanes concentration in raw and upgraded biogas

Table5 に Fig.15, 16 の横軸である消化ガス中のシロキサン成分濃度の平均、最大、最小値および標準偏差を示す。平成 18 年度中に月 1~2回の頻度で測定を実施しており、データ数は 17 点である。

Table 5 Siloxanes concentration in raw biogas (unit: mg/m³_N)

名称	平均	最大	最小	標準偏差
ヘキサメチルシクロトリシロキサン(D3)	0.045	0.086	0.0085	0.024
オクタメチルシクロテトラシロキサン(D4)	2.6	6.1	0.50	1.3
デカメチルシクロペンタシロキサン(D5)	33	100	6.2	22
ドデカメチルシクロヘキサシロキサン(D6)	0.81	2.7	0.11	0.55
D3~D6合計	37	107	6.8	23

(3) 付臭

精製ガスは無臭のため、CNG 車燃料として利用する場合、高圧ガス保安法で義務付けられている臭い付けをする必要がある。実証試験開始当初は都市ガスを混合することによって付臭を行っていたが、付臭剤を単独で精製ガスに添加する装置(以下、付臭装置)を実証設備に設置し、付臭装置を使用した場合の精製ガスの臭気濃度を確認した。付臭方式は蒸発方式とし、付臭剤は、テトラヒドロチオフェン(以下 THT と記載、化学式: C_4H_8S)を採用した。

Fig. 17 に縦軸を官能法による臭気濃度結果、横軸は付臭剤濃度(検知管法)を取り示す。図中の●は認知閾値:付臭剤(THT)の臭いであると判別できる臭気濃度、▲は検知閾値:臭源は特定できないが何か臭いがすると判別できる臭気濃度、を表しており、一般に認知閾値は検知閾値よりも低い値となる。

結果、臭気濃度の最低値は 3,000(認知閾値として)であり、高圧ガス保安法の基準値(1,000)を満足する付臭が可能であることを確認した。

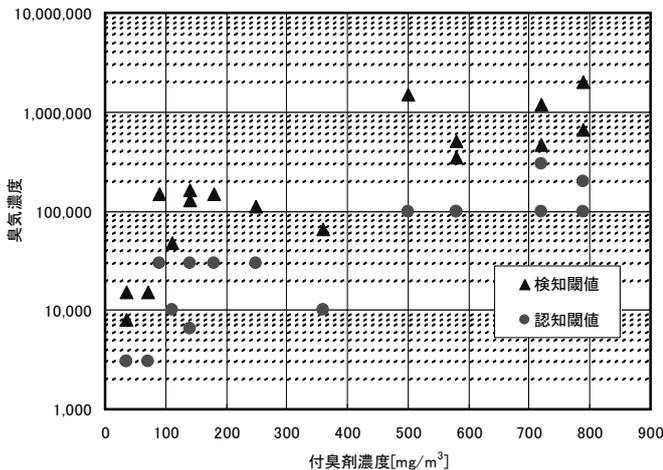


Fig.17 Odorization of upgraded biogas

6. 精製ガスの CNG 車への供給

実証設備運転で得た精製ガスは日々、各種の CNG 車へ供給しており、平成 18 年 4 月から 19 年 3 月までの 1 年間のガス供給量実績は約 15,000 m^3_N 、供給回数は延べ 1,000 回弱であった。

ガスを供給した車両は乗用車、中・小型の輸送用トラックおよび大型バス等であり、平成 18 年 10 月以降は営業運転用の神戸市バスに連日ガスを供給しており、12 月までの 3 ヶ月間のガス供給と走行実績は、Table 6 のとおりである。

Table 6 Operating result of city bus using upgraded biogas as fuel (from Oct. to Dec. 2006)

項目	単位	平成18年10~12月
ガス充填量	m^3_N	2,743
走行距離	km	4,323
燃費	km/m^3_N	1.58

精製ガスのみを燃料として走行している乗用車(神戸市公用車、総排気量:約 2L)に関して、11 ヶ月間走行後(期間中の燃料消費量:約 600 m^3_N)のエンジンオイルと点火プラグの状況を調査した。エンジンオイル中へのシロキサンの主成分である珪素の蓄積は生じていなかった。また、点火プラグについても電極の損耗はみられなかった。

7. まとめ

平成 16 年以降、消化ガスからのメタンガス濃縮法として高圧水吸収法を採用し、実証試験を実施し、得られた精製ガスは CNG 車燃料としての利用を前提に研究を進めてきた。結果として、本法で得られた精製ガスの CNG 車燃料としての適用性の確認結果と法規制値に基づき、品質管理基準を策定し、この管理基準を満足するガスを安定して精製できることを実証した。

本法の実機は神戸市東水環境センターに現在建設中であり、平成 20 年春より操業を開始し、市バス等の天然ガス自動車の燃料として前掲の品質管理基準を満たすバイオ天然ガス「こうべバイオガス」を供給する予定である。

バイオ天然ガスは、下水由来のバイオガスであり、カーボンニュートラルで下水処理場が存続する限り採取可能なエネルギーである。今後も下水道資源の積極的な利活用に取り組んでいきたい。

[参考文献]

- 1) 豊久、宮本、小山 第 42 回下水道研究発表会論文集 (2005)、P.52-54
- 2) 河田、瀧村、大西 第 42 回下水道研究発表会論文集 (2005)、P.55-57
- 3) 豊久、宮本、小山 第 43 回下水道研究発表会論文集 (2006)、P.410-412
- 4) 神戸市、独立行政法人土木研究所、(株)神鋼環境ソリューション「消化ガスのバイオ天然ガス化」共同研究報告書 (2006)
- 5) 社団法人日本ガス協会 ウェブサイト <http://www.gas.or.jp/ngvj/index.html>
- 6) 日本化学会編“化学便覧 基礎編 改訂 3 版”丸善 (1984)、P. II-160

(受付 2007. 4.27)

(受理 2007. 6.19)

Purification of Sewage Sludge Digestion Gas

Koji Murakoshi¹, Hiroshi Miyamoto², Hiroshi Teraoka³, Syuuichi Ochi⁴

Kobelco Eco-solutions co.,LTD.^{1,2}, Kobe City³, Public Works Research Institute⁴

Abstract

Pressurized water absorption method was applied for upgrading of digestion gas that generated in the sewage treatment process. As the result of this application, digestion gas could be upgraded to natural gas quality. Methane gas content increased from about 60% to more than 98vol% and trace of impurities were removed. (Hydrogen sulfide decreased from 300ppm to less than 0.1ppm).

This paper reports these items

- 1.Effects of purification operation conditions on upgraded biogas quality.
- 2.Applicability of upgraded biogas to fuel of a natural gas vehicle.
- 3.Quality standard for biogas as vehicle fuel and demonstration plant performance test result of full-year operation.

KeyWords :

Sewage sludge, Digestion gas, Biogas, Natural gas vehicle, Automobile fuel, Pressurized water absorption technology